

รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2554

รหัสโครงการ ว-ท(ด)181.54

ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย) การพัฒนาเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำโดยทฤษฎีภาพการเคลื่อนที่

ของอนุภาคขนาดใหญ่

ชื่อเรื่อง (ภาษาอังกฤษ) Developing a Discharge Meter by Large Scale Particle Image

Velocity Method

โดย

ดร.จิระกานต์ ศิริวิชัยไมตรี

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ปีการศึกษา 2554

รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2554

รหัสโครงการ ว-ท(ด)181.54

ชื่อเรื่อง(ภาษาไทย) การพัฒนาเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำโดยทฤษฎีภาพการเคลื่อนที่

ของอนุภาคขนาดใหญ่

(ภาษาอังกฤษ) Developing a Discharge Meter by Large Scale Particle Image

Velocity Method

รหัสโครงการ ว-ท(ด)181.54

ชื่อผู้วิจัย อ.ดร.จิระกานต์ ศิริวิชัยไมตรี (หัวหน้าโครงการ)

หน่วยงานที่สังกัด ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

หมายเลขโทรศัพท์ 034-351-897 โทรสาร 034-515-404

ชื่อผู้วิจัย นายพรหมพร เชื้อกุล

หน่วยงานที่สังกัด ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

หมายเลขโทรศัพท์ 034-351-897 โทรสาร 034-515-404

บทคัดย่อ

ทรัพยากรน้ำเป็นแหล่งต้นทุนที่สำคัญต่อการผลิตทางเกษตรกรรมของประเทศ การบริหารจัดการ
ทรัพยากรน้ำอย่างมีระบบให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดจะเป็นการเสริมความแข็งแกร่งมั่นคงของชาติ เพื่อป้องกัน

ปัญหาที่จะเกิดจากการขาดแคลนน้ำที่จำเป็นต่อการอุปโภคบริโภค เกษตรกรรมและอุตสาหกรรม รวมถึงปัญหาน้ำท่วม ซึ่งส่งผลกระทบมากมายต่อประเทศชาติโดยตรง กลไกที่สำคัญในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำคือการตรวจวัดปริมาณน้ำด้วยเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ เครื่องมือตรวจวัดปริมาณน้ำมีอยู่มากมายในท้องตลาด ล้วนแล้วแต่เป็นเครื่องมือที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ มีราคาสูงมาก มีการทำงานที่ยุ่งยากซับซ้อน ทำให้การตรวจวัดน้ำจะต้องอาศัยผู้ที่มีความชำนาญเฉพาะเท่านั้น โครงการวิจัยนี้จึงได้ทำการพัฒนาเครื่องมือวัดอัตราการไหลขึ้น อาศัยหลักการถ่ายภาพการเคลื่อนที่ของผิวน้ำ แล้วทำการคำนวณความเร็วการไหลจากความเร็วการเคลื่อนที่ของผิวน้ำ โดยใช้การเปรียบเทียบภาพถ่ายของผิวน้ำที่เวลาต่างกันและใช้สมการความสัมพันธ์เพื่อหาทิศทางและขนาดของการเคลื่อนที่ของผิวน้ำ การทดลองนี้ได้มีการทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน ผลที่ได้จากการตรวจวัดถูกเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดแบบตวงปริมาตร ผลการคำนวณอัตราการไหลของเครื่องตรวจวัดโดยทฤษฎีวิเคราะห์อนุภาคขนาดใหญ่พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับการตรวจวัดแบบตวงปริมาตร

Abstract

Water resource is significant to the outcome of agricultural. Managing the water resource to the optimum performance will strengthen the national security. This will result in preventing problems such as water shortage for consumption, agriculture and industry including flood protection. These problems directly impact the nation. The important mechanism for the water resource management is to measure the amount of water with a

reliable tool. There are many types of water measuring instruments on the market. Most of them are imported abroad and very expensive. Water measurement with a special tool requires people with specific skills. This project has developed a tool to measure the flow rate. The principle is measuring the movement of water surface. The flow velocity is calculated from movement of the water surface. This can be done by comparing the water surface images at different time. A cross-correlation equation is used to determine the direction and magnitude of the water surface. This experiment has been tested in a hydraulic laboratory, Department of Irrigation, Engineering KPS. The results of the measurements are compared with measurements of the volume metric. The calculated flow rate by LSPIV method shows the flow discharge close to the volume metric measurements.

Key words: (ภาษาไทย) ความเร็วการไหล, ภาพถ่ายอนุภาคขนาดใหญ่, วัดอัตราการไหล
(ภาษาอังกฤษ) Flow Velocity, Large-Scale Particle Image, Discharge measurement

บทนำ

การที่ประเทศชาติจะมีความเจริญก้าวหน้า จะต้องมียุทธศาสตร์ที่มั่นคง ทั้งทางด้าน เศรษฐกิจ สังคม และทรัพยากรธรรมชาติ ในปัจจุบันปริมาณประชากรของประเทศมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว กระจายตัวไปทั่วทุกภาคของประเทศ การเสริมความมั่นคงโดยเฉพาะทางด้านการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติ จะส่งผลให้การเกษตรกรรมซึ่งเป็นอาชีพสำคัญที่สร้างผลิตผลเพื่อเลี้ยงคนประชากร เพื่อตอบสนองความต้องการทั้งในและต่างประเทศ เนื่องจากการเจริญเติบโตทางเกษตรกรรมเพิ่มมากขึ้น ทำให้ปัญหาของความต้องการน้ำ และการบริหารจัดการน้ำทวีความรุนแรงมากขึ้นตามลำดับ จึงจำเป็นต้องมีการกักเก็บน้ำมากขึ้น ส่งผลให้กระบวนการบริหารจัดการน้ำมีความยืดหยุ่นในการป้องกันภัยพิบัติน้อยลง เมื่อเกิดช่วงฤดูพายุฝนที่มีปริมาณน้ำมาก จึงทำให้เกิดสภาวะระบายน้ำไม่ทันหรือน้ำท่วม การบริหารจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพจะเป็นการป้องกันความเสียหายที่มาจากน้ำหรือความขาดน้ำหรือน้ำมากเกินไป อีกทั้งจะเป็นการช่วยลดปัญหาความขาดแคลนที่เกิดขึ้นในปัจจุบันและที่กำลังจะเกิดขึ้นในอนาคตได้

ปัญหาสำคัญของการบริหารจัดการน้ำในประเทศไทยคือ ขาดข้อมูลปริมาณน้ำที่มีประสิทธิภาพและทันต่อเหตุการณ์ การตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำในคลองชลประทาน ซึ่งการตรวจวัดอัตราการไหลจะเป็นพื้นฐานของการบริหารจัดการน้ำ เป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณน้ำที่มีและความต้องการน้ำของแต่ละพื้นที่ การตรวจวัดปริมาณการไหลในจุดต่างๆจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการน้ำ และจัดสรรปริมาณน้ำได้อย่างถูกต้อง การตรวจวัดน้ำของกรมชลประทานตามคลองชลประทานทั่วประเทศยังมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอและไม่ทันต่อเหตุการณ์ที่จะสามารถนำมาใช้ละทำนายสถานการณ์ปริมาณน้ำได้ กรมชลประทานมีการนำเครื่องมือตรวจวัดระดับน้ำอัตโนมัติมาใช้เพื่อจะช่วยให้การเก็บข้อมูลเป็นประจำวันมีประสิทธิภาพเนื่องจากเครื่องมือที่ตักน้ำเข้ามาจากต่างประเทศมีราคาสูงและจำเป็นจะต้องมีผู้เชี่ยวชาญควบคุมดูแลระบบทำให้ต้องใช้เงินทุนมหาศาล ระบบอัตโนมัติจึงไม่ได้รับความนิยมมากนัก และยังมีปัญหาความไม่ถูกต้องของระดับน้ำเนื่องจากการเปิดปิดบานประตูระบายน้ำซึ่งจะอธิบายในการวัดน้ำต่อไป

การตรวจวัดปริมาณน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติมีบทบาทความสำคัญมากต่อการบริหารจัดการน้ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อความมั่นคงและรากฐานทางสังคมและเศรษฐกิจของประเทศ การตรวจวัดปริมาณน้ำที่มีประสิทธิภาพและถูกต้องจะช่วยให้การบริหารจัดการน้ำมีประสิทธิภาพและช่วยป้องกันหรือทุเลาความรุนแรงของภัยพิบัติทางน้ำที่จะเกิดขึ้นได้

วิธีการตรวจวัดปริมาณน้ำในปัจจุบันมีมากมายหลายวิธี แต่ละวิธีมีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกันออกไป ประสิทธิภาพและความง่ายในการใช้งานจะแปรผันตามราคาของเครื่องมือ โดยทั่วไปราคาเครื่องมือวัดปริมาณน้ำที่มีขายในตลาดมีราคาสูงมากเพราะต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ การพัฒนาเครื่องมือวัดที่มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพจะส่งผลให้การตรวจวัดปริมาณน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การตรวจวัดปริมาณน้ำในคลองชลประทานสามารถทำได้หลายวิธีเช่น 1.การวัดความลึกของระดับน้ำที่หน้าตัดใดๆ แล้วนำความลึกของน้ำมาหาพื้นที่หน้าตัดของคลอง จากนั้นนำความลึกและพื้นที่หน้าตัดมาหาสมการการไหลเพื่อคำนวณเป็นอัตราการไหล 2.การวัดระดับน้ำที่ก่อนและหลังบานประตูระบายน้ำแล้วนำมาเปรียบเทียบเป็นค่าปริมาณการไหล จากกราฟอัตราการไหลหรือที่เรียกว่า Rating Curve 3.การวัดอัตราการไหลจากระดับน้ำที่ไหลข้ามฝายสันคมที่มีการเียบวัดค่าอัตราการไหลมาแล้ว จากนั้นนำระดับที่ได้มาเทียบวัดเป็นอัตราการไหล ในสถานการณ์จริงการคำนวณอัตราการไหลจากสมการการไหลโดยใช้ระดับน้ำ(วิธีที่1.) จะมีจุดอ่อนที่สมการไม่ได้มีการครอบคลุมตัวแปรผันทางธรรมชาติและความแตกต่างทางพื้นที่มากมาย จึงทำให้ค่าที่คำนวณได้มีความผิดพลาดสูง ดังนั้นสมการการไหลจะสามารถใช้ได้เมื่อมีการปรับแก้ตัวแปรผันทางธรรมชาติและมีการปรับแก้เพื่อให้เข้ากับสถานที่นั้นๆ ซึ่งในความเป็นจริงการที่จะควบคุมตัวแปรผันทางธรรมชาติสามารถทำได้ยาก และการปรับแก้สมการเพื่อให้เข้ากับสภาพแวดล้อมและสถานที่จะต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านทำการทดสอบและตรวจวัด ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สิ้นเปลืองเวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายมาก อีกทั้งจะต้องทำการตรวจสอบเป็นประจำเพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำ

ดังที่กล่าวในขั้นต้นว่าการคำนวณอัตราการไหลจากสมการที่ใช้ค่าความลึกมีความผิดพลาดสูง อีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การคำนวณปริมาณการไหลของน้ำในคลองชลประทานผิดพลาดคือ ผลกระทบจาก Shot Channel Effect และ Back Water Effect ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ ระดับน้ำในคลองสูงขึ้นจากการปิดหรือลดระดับบานประตูระบายน้ำแต่ปริมาณการไหลของน้ำลดลง เนื่องมาจากระยะทางการไหลในคลองมีขนาดความยาวไม่เพียงพอที่จะหลีกเลี่ยงผลกระทบนี้ ทำให้ไม่สามารถคำนวณปริมาณการไหลที่แท้จริงได้โดยใช้ความลึกของระดับน้ำ

การคำนวณอัตราการไหลจากระดับน้ำก่อนและหลังฝาย เป็นวิธีที่มีการใช้อย่างแพร่หลายตามจุดวัดน้ำต่างๆ วิธีนี้จะต้องมีการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลกับระดับการเปิดบานประตูระบายน้ำ ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการเทียบวัดกับค่าอัตราการไหลที่แท้จริงเป็นประจำทุกๆ 5-7 ปีเพื่อให้ได้ค่าที่แน่นอน ค่าที่ได้จะมีจำนวนน้อย เพราะสถานีวัดน้ำและประตูน้ำมีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับจำนวนคลองชลประทานที่มีอยู่ ทำให้ข้อมูลไม่เพียงพอในการวิเคราะห์การจัดการและสรรน้ำในพื้นที่นั้นๆ

การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

เครื่องมือตรวจวัดที่มีประสิทธิภาพมีความจำเป็นมากในการบริหารจัดการน้ำ ในการใช้เครื่องมือวัดความเร็วของกระแสน้ำจึงเข้ามามีบทบาทต่อการคำนวณปริมาณการไหล การคำนวณอัตราการไหลจะสามารถทำได้โดยนำพื้นที่หน้าตัดการไหลคูณกับความเร็วการไหล วิธีนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำของการคำนวณอัตราการไหล และยังแก้ไขปัญหามาจากปรากฏการณ์ Shot Channel Effect และ Back Water Effect ได้ โดยเมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นเนื่องจากการลดระดับบานประตู อัตราการไหลจะลดลงส่งผลให้ความเร็วของการไหลก็จะลดลงตามลงมา ฉะนั้นถึงแม้ว่าพื้นที่การไหลเพิ่มขึ้นแต่ถ้าสามารถบอกความเร็วของกระแสน้ำที่ลดลง ก็จะสามารถคำนวณปริมาณการไหลที่แท้จริงได้

การวัดน้ำที่มีใช้ในประเทศไทยมีหลากหลายวิธี โดยส่วนมากจะเป็นการวัดความลึกเพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการไหลจาก Rating Curve การวัดความลึกจะสามารถกระทำได้หลายวิธีแต่ละวิธีจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันแสดงข้างล่าง

ตารางที่ 1.1 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวิธีการวัดระดับน้ำ

วิธีการวัดระดับน้ำ	ข้อดี	ข้อจำกัด
ลูกลอย	1.ได้ผลที่แน่นอนแม่นยำ 2.สามารถหาวัสดุได้ง่าย 3.สามารถต่อกับระบบส่ง ข้อมูลได้โดยตรง	1.ต้องมีบ่อพักน้ำนิ่ง 2.มีขนาดใหญ่และขั้นตอนติดตั้งยุ่งยาก
หัววัดแรงดัน Pressure Transducer	1.การติดตั้งง่าย 2.สามารถต่อกับระบบส่งข้อมูลได้โดยตรง	1.ราคาสูง(นำเข้าจากต่างประเทศ) 2.มีอุปสรรคมากเพราะต้องอยู่ใต้น้ำตลอด
ไม้วัดระดับ Staff Gauge	1.ราคาถูก 2.มีความทนทานสูง	1.ไม่สามารถต่อกับระบบส่งข้อมูลได้ 2.ต้องใช้เวลาและแรงงานจำนวนมากทั้งการอ่านและบันทึกข้อมูล 3.ไม่สามารถส่งข้อมูลได้ทันเหตุการณ์
Ultrasonic Meter	1.สามารถประยุกต์ใช้เป็นเครื่องวัดความเร็วในตัว	1.ราคาสูง(นำเข้าจากต่างประเทศ)

	2.สามารถต่อกับระบบส่งข้อมูลได้โดยตรง 3.การติดตั้งง่าย	2.สภาพแวดล้อมมีผลกับการวัด
Laser Depth Meter	1.สามารถประยุกต์ใช้เป็นเครื่องวัดความเร็วในตัว 2.สามารถต่อกับระบบส่งข้อมูลได้โดยตรง 3.การติดตั้งง่าย	1.ไม่สามารถใช้ได้กับน้ำที่มีตะกอนหนาแน่น 2.ราคาสูง(นำเข้าจากต่างประเทศ) 3.มีข้อจำกัดกับความลึกน้ำ

ซึ่งจากที่กล่าวมาในขั้นตอนการวัดความลึกของน้ำไม่เพียงพอต่อการประมาณค่าอัตราการไหลของน้ำ ดังนั้นการวัดความเร็วของกระแสน้ำจึงเป็นทางเลือกที่สามารถนำเข้ามาช่วยในการคำนวณอัตราการไหลได้ สามารถนำไปใช้ได้ทุกพื้นที่โดยไม่จำเป็นจะต้องมีอาคารวัดน้ำ

การตรวจวัดความเร็วของกระแสน้ำสามารถทำได้หลายวิธี โดยเครื่องมือที่แตกต่างกันออกไป โดยแต่ละชนิดจะมีจุดเด่นและข้อด้อยดังแสดงในตารางดังนี้

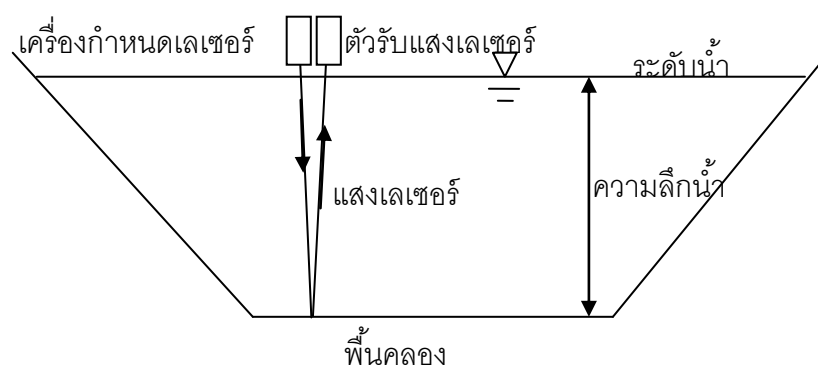
ตารางที่ 1.2 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวิธีการวัดความเร็วน้ำ

วิธีการวัดความเร็วน้ำ	ข้อดี	ข้อเสีย
1.Current Meter เครื่องวัดความเร็วน้ำแบบใบพัด	1.ได้ความเร็วที่เที่ยงตรง 2.สามารถเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารได้โดยตรง	1.ไม่สามารถวัดความเร็วเฉลี่ยได้ 2.มีขั้นตอนที่ยุ่งยากในการหาค่าความเร็วเฉลี่ย 3.ใช้เวลาและแรงงานสูง 4.ราคาสูง(นำเข้าจากต่างประเทศ)
2.ท่อปีโดต (Pitot Tube)	1.ราคาถูก 2.สภาพแวดล้อมในการวัดมีผลต่อการค่าที่ได้น้อย	1.ค่าความเร็วเฉลี่ยไม่คงที่ 2.ไม่สามารถเชื่อมต่อกับระบบส่งข้อมูลได้ 3.ใช้เวลาและแรงงานสูง
3.Ultrasonic Meter	1.ขั้นตอนวัดง่ายต่อการทำงาน 2.มีขนาดเล็กและไม่ต้องมีอาคาร 3.สามารถประยุกต์ใช้วัดความลึกได้ 4.สามารถเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารได้โดยตรง	1. ราคาสูง(นำเข้าจากต่างประเทศ) 2.สิ่งแวดล้อมมีผลต่อความแม่นยำของการวัด
4.Laser Velocimetry	1.มีขนาดเล็กและไม่ต้องมีอาคาร 2.สามารถประยุกต์ใช้วัดความลึกได้ 3.ขั้นตอนวัดง่ายต่อการทำงาน 4.สามารถเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารได้โดยตรง	1.ราคาสูง(นำเข้าจากต่างประเทศ) 2.สิ่งแวดล้อมมีผลต่อความแม่นยำของการวัด
5.Electromagnetic	1.ขั้นตอนวัดง่ายต่อการทำงาน	1.ราคาสูง(นำเข้าจาก

	2.มีขนาดเล็กและไม่ต้องมีอาคาร 3.สามารถเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารได้โดยตรง	ต่างประเทศ) 2.มีขั้นตอนที่ยุ่งยากในการหาค่าความเร็วเฉลี่ย 3.ใช้เวลาและแรงงานสูง
--	---	---

จากการที่ได้พิจารณาข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือวัดความลึกและความเร็วมาแล้ว งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเครื่องมือวัดน้ำที่มีใช้หลักการของเลเซอร์ หรือ Laser Velocimetry ซึ่งมีความสามารถในการวัดความลึกและความเร็วของกระแสน้ำ

การใช้แสงเลเซอร์วัดความลึกของน้ำจะอาศัยหลักการทำงานเดียวกับเครื่องวัดระยะทางโดยเลเซอร์ ทำงานโดยการส่งคลื่นแสงเลเซอร์จากผิวน้ำลงไปยังท้องน้ำเป็นจังหวะๆ เลเซอร์จะสะท้อนพื้นท้องน้ำกลับมาขึ้นมาเข้าตัวรับสัญญาณที่ผิวน้ำ ระยะทางหรือความลึกจะคำนวณได้จากเวลาที่ใช้ในการเดินทางแล้วหารด้วยสองดังที่แสดงในรูปที่ 1.1 วิธีนี้จะมีข้อจำกัดดังนี้ 1.ความสามารถในการสะท้อนของแสงเลเซอร์จะขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิวคลอง 2.ปริมาณตะกอนในน้ำจะมีผลโดยตรงกับการสะท้อนของแสงเลเซอร์ ซึ่งข้อจำกัดเหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดยการเลือกวิธีและความถี่ในการฉายแสงเลเซอร์ที่เหมาะสม

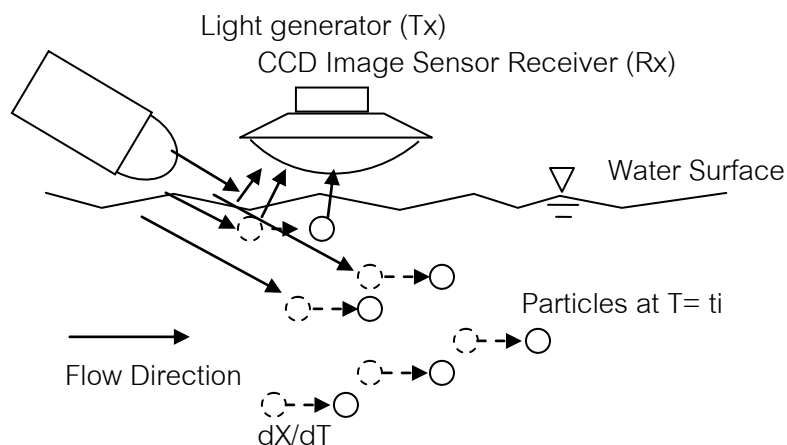


รูปที่ 1.1 การประยุกต์ใช้เลเซอร์เพื่อวัดความลึกของระดับน้ำ

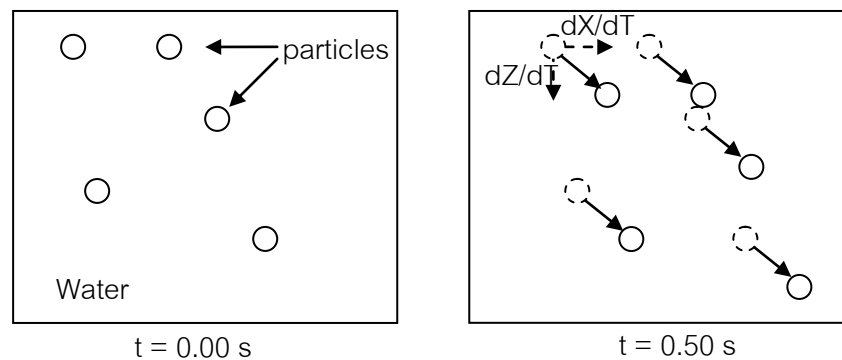
การใช้แสงเลเซอร์ในการตรวจวัดปริมาณน้ำ

การใช้แสงเลเซอร์ในการตรวจวัดมีข้อดีคือสามารถวัดได้ทั้งความเร็วและระดับน้ำและสามารถทำได้หลายวิธี โดยทั้งหมดมีหลักการเบื้องต้นคือ การฉายแสงเลเซอร์ไปยังน้ำที่มีปริมาณตะกอนเป็นส่วนประกอบ แสงเลเซอร์จะสะท้อนตะกอนที่อยู่ในน้ำ ตำแหน่งของตะกอนจะถูกบันทึกโดยกล้องถ่ายภาพหรือกล้องวิดีโอ(รูปที่1.2)การบันทึกภาพจะเป็นระยะๆที่เวลาต่างๆกัน ข้อมูลภาพจะถูกส่งเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อทำการวิเคราะห์ตำแหน่งของตะกอนที่เวลาใดๆ ซึ่งเป็นการคำนวณความเร็วจะทำโดยนำระยะทางการเคลื่อนที่ของตะกอนในแนวแกน dX/dT dY/dT และ dZ/dT ของตะกอนโดยรวมมาคำนวณเป็นระยะทางเฉลี่ยของแกนที่คำนวณได้หารด้วยเวลาที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่1.2 และ 1.3 ตัวอย่างวิธีการใช้แสงเลเซอร์ในการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของตะกอนเช่น Laser Doppler Anemometry (LDA) Digital Particle Image Velocity (DPIV) Digital Particle Tracking Velocimetry (DPTV) Holographic Particle Image Velocimetry (HPIV) Doppler Global

Velocimetry(DGV)/Planar Doppler Velocimetry (PDV) โดยทั้งหมดนี้จะมีขนาดของตะกอนในน้ำเป็นสิ่งที่สำคัญต่อการวัดความเร็ว ขนาดของตะกอนที่ไม่เล็กและไม่ใหญ่จนเกินไปเป็นสิ่งสำคัญต่อการวัดความเร็ว เพราะถ้าตะกอนมีขนาดเล็กจนเกินไปจะทำให้ยากต่อการจับภาพและติดตาม ในอีกทางหนึ่งคือถ้าตะกอนมีขนาดใหญ่จนเกินไป ความเร็วของตะกอนก็อาจจะไม่ใช่ความเร็วของการไหลที่แท้จริง เนื่องจากแรงโน้มถ่วงจะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่มาก จากการทดลองของ Victor, C.^{10.3} พบว่าตะกอนควรจะมีขนาดประมาณ 1-50 micron ในน้ำ จึงจะเหมาะสมต่อการวัดความเร็ว ซึ่งตะกอนประเภทนี้เป็นตะกอนประเภท Sediment load ซึ่งเป็นชนิดตะกอนที่มีอยู่ทั่วไปในน้ำคลอง



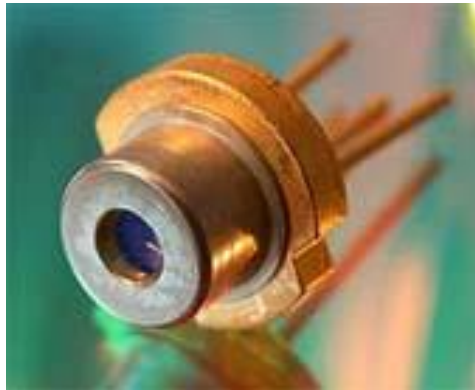
รูปที่ 1.2 การประยุกต์ใช้กล้องดิจิทัลเพื่อวัดความเร็วของการไหล (ภาพด้านข้าง)



รูปที่ 1.3 การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของตะกอนในน้ำ (ภาพ

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สิ่งสำคัญของระบบคือการใช้คลื่นแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับสภาพน้ำและชนิดตะกอนที่มีของน้ำในคลอง มีพลังงานมากพอที่จะเดินทางในตัวกลางและมีความสามารถที่จะสะท้อนกลับจากตะกอน ซึ่งจะส่งผลโดยตรงกับความสามารถในการจับภาพตะกอนในน้ำ ความเร็วและความลึกของน้ำ

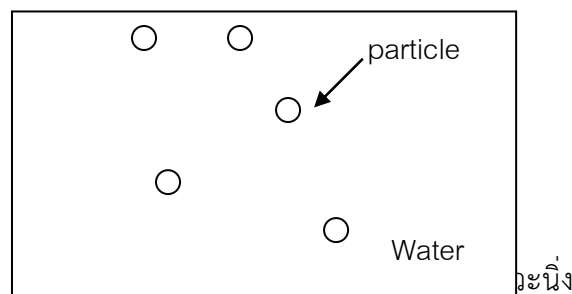
องค์ประกอบของเครื่องมือในการทดลองนี้จะประกอบด้วยหัวส่งสัญญาณแสงเลเซอร์ (Tx LED) ตัวรับสัญญาณ (Rx CCD) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) และเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยหัวส่งสัญญาณจะทดลองใช้หัวสัญญาณเลเซอร์ขนาดเล็ก (Laser LED) รูปที่ 1.4 ซึ่งมีการจัดทำโดยผู้ผลิตอุปกรณ์เครื่องไฟฟ้าทั่วไป เข้ามาใช้ในการทดสอบคุณสมบัติของเพื่อส่องแสงสู่ตะกอนในน้ำจะต้องทำการทดลองเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นที่แตกต่างกันเพื่อหาความยาวคลื่นแสงและระบบที่เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมของการวัด



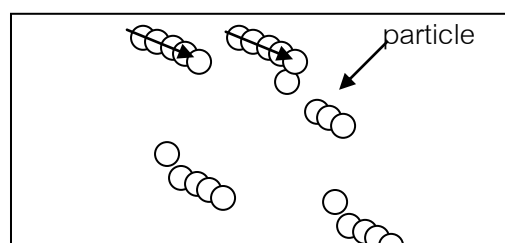
รูปที่ 1.4 หัวส่งสัญญาณ เลเซอร์ขนาดเล็ก (Samsung's Laser LED)

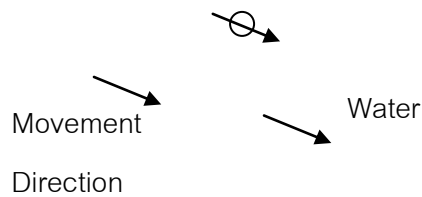
สัญญาณแสงที่สะท้อนจากตะกอนจะย้อนกลับเข้าสู่ตัวรับสัญญาณ ในขั้นต้นจะใช้กล้อง CCD ที่มีความเร็วสูงและเลนส์กำลังขยายสูงเป็นตัวรับสัญญาณ ประกอบกับ Infrared Filter เป็นตัวฟิวเตอร์กรองสัญญาณลดแสงช่วงปกติ (Visible Light) และแสงรบกวน (Noise) ก่อนที่จะเข้าสู่กล้อง CCD ข้อมูลจะถูกส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์ในรูปแบบภาพที่ถูกกรองแสงแล้วเพื่อเข้าสู่การโปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของตะกอน (Digital Image Processor) รูปแบบข้อมูลภาพจะแสดงตำแหน่งของอนุภาคตะกอนและเวลาที่บันทึก ซึ่งสามารถแบ่งการวิเคราะห์ได้ 2 วิธี

1. การใช้วิธีถ่ายภาพความเร็วสูง ซึ่งเป็นความเร็วที่สูงกว่าความเร็วการเคลื่อนตัวของตะกอนภาพที่ได้จะมีลักษณะแสดงตำแหน่งตะกอนแบบนิ่ง (รูปที่ 1.5) จะต้องนำภาพที่เวลาต่าง ๆ กันมาเปรียบเทียบเพื่อหาความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่



2. การใช้วิธีถ่ายภาพความเร็วต่ำ ซึ่งเป็นความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วการเคลื่อนตัวของตะกอนภาพที่ได้จะมีลักษณะแสดงตำแหน่งตะกอนแบบต่อเนื่อง (รูปที่ 1.6) วิธีนี้สามารถคำนวณความเร็วและทิศทางของการเคลื่อนที่ได้โดยตรง





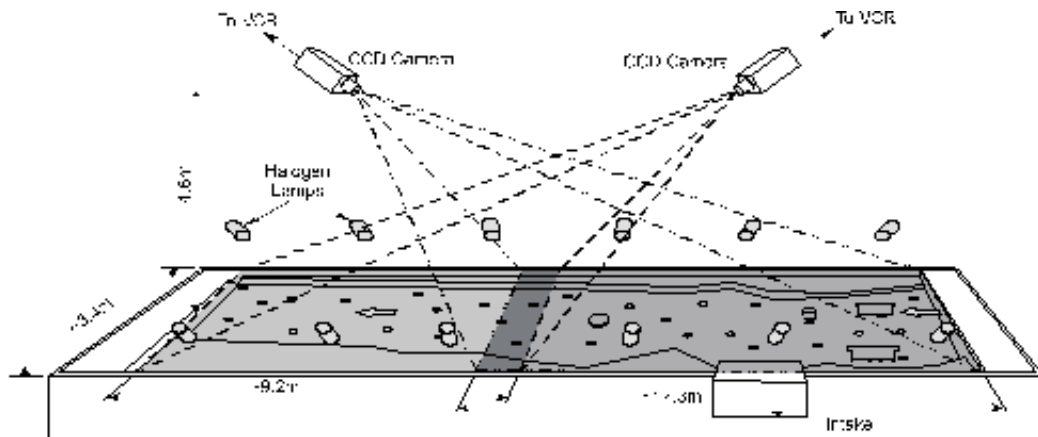
รูปที่ 1.6 แสดงภาพถ่ายอนุภาคตะกอนสถานะเคลื่อนที่

การวิจัยใช้ประโยชน์จากการวิเคราะห์ภาพถ่าย มีมายาวนานและใช้กันอย่างแพร่หลาย การประยุกต์ใช้ วิธี Large-Scale Particle Image Velocity (LSPIV) ได้มีการพัฒนามานานกว่า 10 ปี ซึ่งมีผู้นำไปทดลองใช้ทั้งในห้องทดลองและคลองส่งน้ำ ซึ่งผลที่ได้มีความแม่นยำสูงเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ

ในสหรัฐอเมริกา University of Iowa, M. Muste, A. A. Kruger, and A. Bradley ได้ทำการทดลองโดยสร้างแบบจำลองการไหลขนาด 3.4×14.4 เมตร (รูปที่ 1.7) โดยมีกล้องจับภาพและตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง เพื่อทำการทดลองทฤษฎี LSPIV โดยใช้กล้องวิดีโอ โดยมีการควบคุมปริมาณและทิศทางของแสงเพื่อที่จะได้มุมตกกระทบและปริมาณแสงสะท้อนที่เหมาะสมสำหรับการคำนวณความเร็วของการไหลที่ผิวหน้า(รูปที่ 1.8)

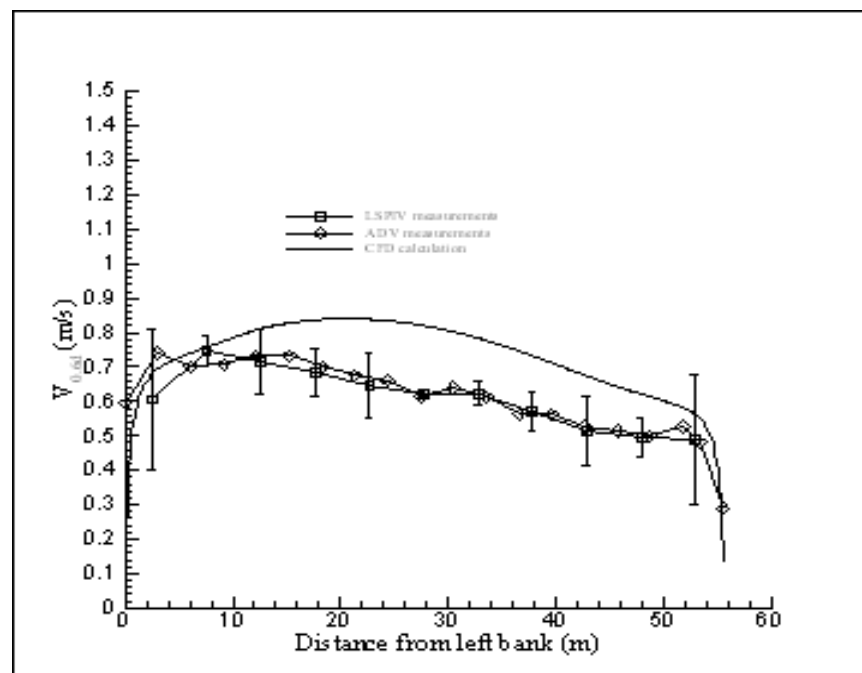


รูปที่ 1.7 แบบจำลองภูมิศาสตร์เพื่อจำลองการไหลของน้ำ *M. Muste, A. A. Kruger, and A. Bradley



รูปที่ 1.8 รูปแสดงการจัดการถ่ายภาพและแสง *M. Muste, A. A. Kruger, and A. Bradley
ผลการทดลอง การคำนวณโดยทฤษฎีสามารถคำนวณอัตราการไหลทั้งหน้าตัดการไหลได้โดยตรง ณ.เวลาเดียวกันทำให้สามารถลดความคลาดเคลื่อนจากเวลาที่แตกต่างของการวัด ผลการทดลอง แสดงในรูปที่ 1.9

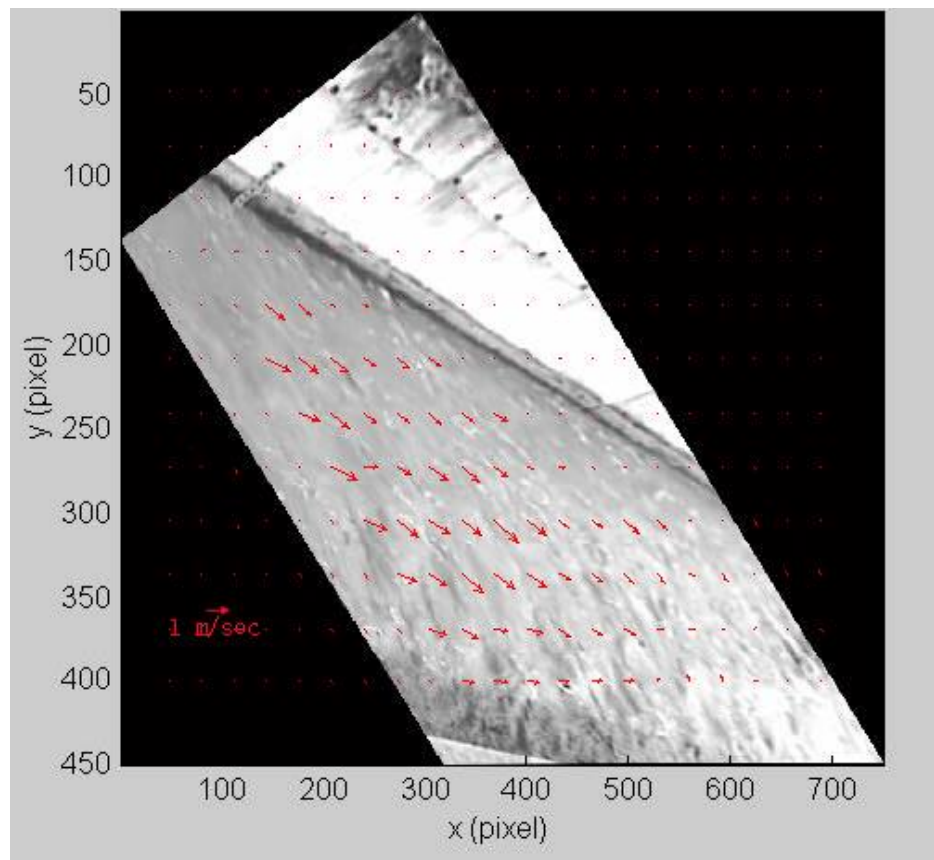
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธี LSPIV คำนวณความเร็วได้เท่ากับ Acoustic Doppler Velocity (ADV) ซึ่งมีความเร็วต่ำกว่าความเร็วจริง ทั้งนี้ความเร็วที่ได้จากทฤษฎี LSPIV เกิดจากการแปลงค่าความเร็วที่ผิวหน้าเป็นความเร็วเฉลี่ย สมการที่ใช้ในการแปลงมีผลอย่างมากในการคำนวณความเร็ว



รูปที่ 1.9 การเปรียบเทียบระหว่างความเร็วที่ได้จากการคำนวณกับความเร็วจริง *M. Muste, A. A. Kruger, and A. Bradley

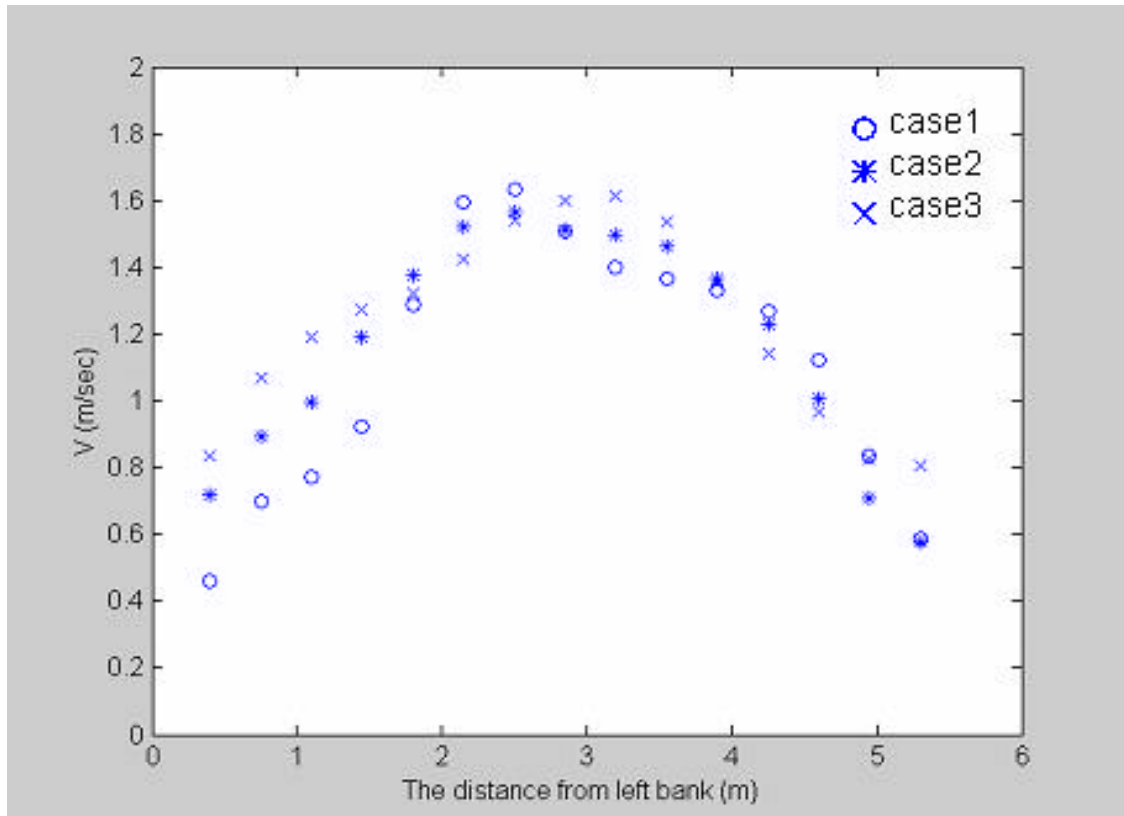
อีกการทดลองหนึ่งที่วิจัยใน Drexel University ของ W.C. Huang และคณะได้ทำการทดลองทฤษฎี LSPIV ในคลองวัดน้ำ (Flume) เพื่อเปรียบเทียบผลกับปริมาณน้ำที่วัดได้จริง (รูปที่ 1.10)

จากการทดลองในสถานที่จริงที่ไม่มีการควบคุมปริมาณและทิศทางของแสง พื้นที่แสงสะท้อนที่ได้รับจากยอดคลื่นในคลองวัดน้ำมีเพียงพอที่จะใช้ในการคำนวณอัตราการไหลได้



รูปที่ 1.10 รูปแสดงการประมวลผลข้อมูลการไหลของน้ำในคลองวัดน้ำ*W.C. Huang และคณะ

จากการทดลองของ W.C.Huang และคณะ รูปที่ 1.11 แสดงให้เห็นว่าความเร็วของการไหลโดยทฤษฎี LSPIV มีความคงที่ในการกระจายตัวของความเร็วและมีรูปร่างใกล้เคียงกับความเร็วของการไหลจริง ซึ่งการคำนวณจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น การหาค่าเฉลี่ยของความเร็ว ขนาดพื้นที่ที่ใช้เป็นหนึ่งเซลล์ของการคำนวณ ความเร็วการไหล ขนาดของคลื่น ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อผลการคำนวณโดยตรง การปรับแก้ที่ดีจะส่งผลให้ได้ผลการคำนวณที่แม่นยำมากขึ้น



รูปที่ 1.11 รูปแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลการไหลของน้ำในคลองวัดน้ำและที่คำนวณได้

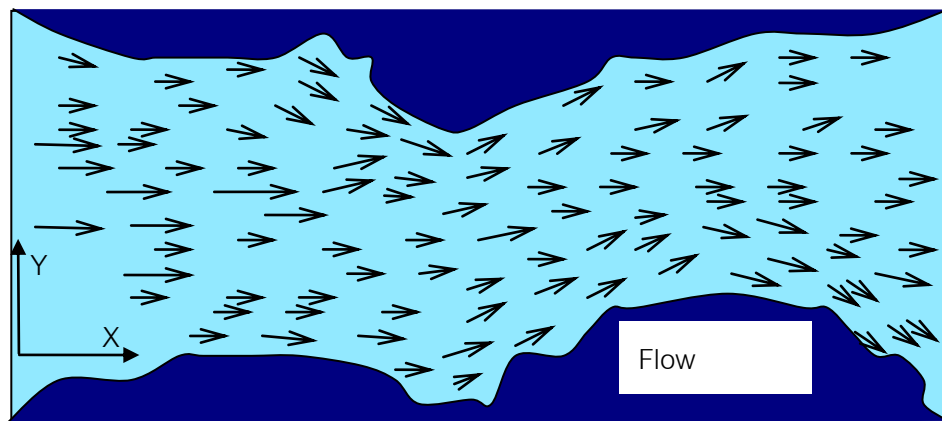
*W.C. Huang และคณะ

2.วิธีการวิจัยดังนี้

งานวิจัยนี้ใช้วิธี Large-Scale Particle Image Velocity ซึ่งใช้วิธีการวัดการเคลื่อนที่ของอนุภาคหรือการสะท้อนแสงของยอดคลื่นที่เกิดจากความขรุขระของผิวน้ำ ประกอบกับการตรวจวัดการเคลื่อนที่ของตะกอนในน้ำเพื่อเป็นตัวแทนความเร็วการไหลหรือของการเคลื่อนที่ของน้ำ โดยกระบวนการเริ่มต้นจากแสงจะตกกระทบบนยอดคลื่นและสะท้อนมายังตัวรับภาพ ซึ่งจะทำให้เห็นตำแหน่งของการสะท้อนแสงและตะกอน ณ เวลาเริ่มต้น เมื่อเวลาผ่านไป t คลื่นและตะกอนเคลื่อนตัวไปยังอีกตำแหน่งทำให้สามารถวัดตำแหน่งของการเคลื่อนที่และเวลาได้

การที่จะทำให้เกิดแสงสะท้อนจากยอดคลื่นมายังตัวรับสัญญาณภาพนั้นจะเกิดจากการปรับองศาของแสงจาก Projector ให้ได้มุมที่เหมาะสม โดยปริมาณการสะท้อนแสงจะแปรผกผันกับมุมที่กระทำกับผิวน้ำและขึ้นอยู่กับความขรุขระของน้ำ

ภาพที่ได้จะถูกนำมาประมวลผลและแสดงออกมาเป็นเวกเตอร์ แต่ละเวกเตอร์จะแสดงทิศทางการเคลื่อนที่และขนาดความเร็วของการไหลในแต่ละจุดดังแสดงในรูปที่ 2.1 ความเร็วเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จากการคำนวณปริมาณการเคลื่อนที่ในทิศทางการไหลคูณกับปริมาตรการไหล



รูปที่ 2.1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการคำนวณความเร็วและทิศทางการไหล

การประมวลผลภาพ (Image Processing) หมายถึง การเรียกใช้ขั้นตอนหรือกรรมวิธีใดๆ เพื่อจัดการกับภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของภาพ เช่น ความคมชัด สี แสงสว่างเพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณสมบัติตามต้องการ ในการประมวลผลภาพ ระบบการประมวลผลภาพแบบดิจิทัล (Digital Image Processing) เป็นระบบที่ได้รับความนิยมเนื่องจากมีความสะดวกสบาย สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานประเภทต่างๆ ได้อย่างแพร่หลายมีความสามารถในการประมวลผลที่รวดเร็วและแม่นยำ

1. หลักการการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่ม หลักๆ คือ

- (1) การปรับปรุงภาพ (Image Enhancement)
- (2) การคืนสภาพรูปภาพ (Image Restoration)
- (3) การวิเคราะห์ภาพ (Image Analysis)
- (4) การบีบอัดภาพ (Image Compression)
- (5) การสังเคราะห์ภาพ (Image Synthesis)

2. การเปลี่ยนแปลงรูปแบบภาพจะกระทำทั้งภาพที่เป็นวัตถุและภาพที่เป็นพื้นหลัง

2.1 การกรองข้อมูลโดยวิธีคอนโวลูชัน

การประมวลผลภาพด้วยวิธีการคอนโวลูชัน คือ การกระทำกันระหว่างภาพต้นแบบ (Template Image) กับภาพต้นแบบคือ เมตริกซ์ขนาด $n \times m$ ของชุดตัวเลขที่จะนำไปซ้อนทับภาพที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อหาผลลัพธ์ของการคอนโวลูชัน ถ้ากำหนดให้เทมเพลต $T(X,Y)$ เป็นเทมเพลตขนาด $n \times m$ และภาพ $I(X,Y)$ มีขนาด $n \times m$ การคอนโวลูชันระหว่างเทมเพลตกับภาพ ดังสมการ

$$I'(X,Y) = T * I = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} T(i,j) \cdot I(X-i, Y-j) \quad (1)$$

จากสมการจะพบว่า ค่าจุดของภาพจะมีการพลิกในแนวแกนตั้งและแกนนอน คอนโวลูชันที่ไม่ต้องมีการพลิกเทมเพลต เรียกว่า Cross-correlation และเป็นที่นิยมใช้ในการประมวลผลภาพ Cross-Correlation เป็นการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยมีชุดข้อมูลสองชุดมีสมการดังนี้

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o) \times \sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_c)}{\left[\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2 \times \sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_c)^2 \right]^{0.5}} \quad (2)$$

เมื่อ Q_i คือ พารามิเตอร์ที่เวลา i ส่วน Q คือ ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ โดยที่ Subscript O กับ C คือ ค่าที่ตรวจวัดได้และค่าที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลอง ตามลำดับ และ N คือ จำนวนของข้อมูลโดยค่า r มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1

2.2 หลักการเปรียบเทียบรูปภาพ (Pattern Matching)

วิธีการที่ใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างภาพ 2 ภาพจะแบ่งข้อมูลเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่เป็นภาพอินพุต และส่วนที่เป็นฐานข้อมูล ซึ่งข้อมูลจะอยู่ในลักษณะภาพของค่าตัวเลข การวิเคราะห์จะทำการเปรียบเทียบข้อมูล ระหว่างภาพอินพุตกับภาพตัวเลขในฐานข้อมูล เพื่อหาความคล้ายคลึงกัน แล้วจึงแสดงผลค่าที่ได้เป็นตัวเลขหลักการทำงานของเครื่องมือ

การวิจัยได้ดำเนินการพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความเร็วการไหล โดยใช้การวัดการเคลื่อนที่ของตะกอนในน้ำโดยมีความสามารถในการตรวจจับความแตกต่างในการเคลื่อนที่ของตะกอนในรูปแบบของทิศทางและขนาดของการเคลื่อนที่ แล้วสามารถแปรผลเป็นค่าความเร็วต่อเวลาที่ใช้เคลื่อนที่ได้

ตัวโปรแกรมจะมีโครงสร้างการทำงานแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังแสดงในรูปที่ 2.2 ส่วนแรกคือส่วนรับข้อมูล

1. ข้อมูลเบื้องต้น (Pre-process and acquiring data) ประกอบด้วย

1. นำภาพจากเซ็นเซอร์รับภาพส่งเข้ามาสู่เครื่องคอมพิวเตอร์(Image Acquisition)
2. ทำการปรับค่าต่างๆเช่น ขนาด, ความเข้มแสง, สี, และความคมชัดของภาพให้สามารถนำมาวิเคราะห์การไหลได้(Image Adjustment)
3. ทำการเลือกพื้นที่ที่จะทำการวิเคราะห์ออกจากส่วนที่อยู่หนึ่งหรือส่วนที่ไม่ใช่(Noise filtering)

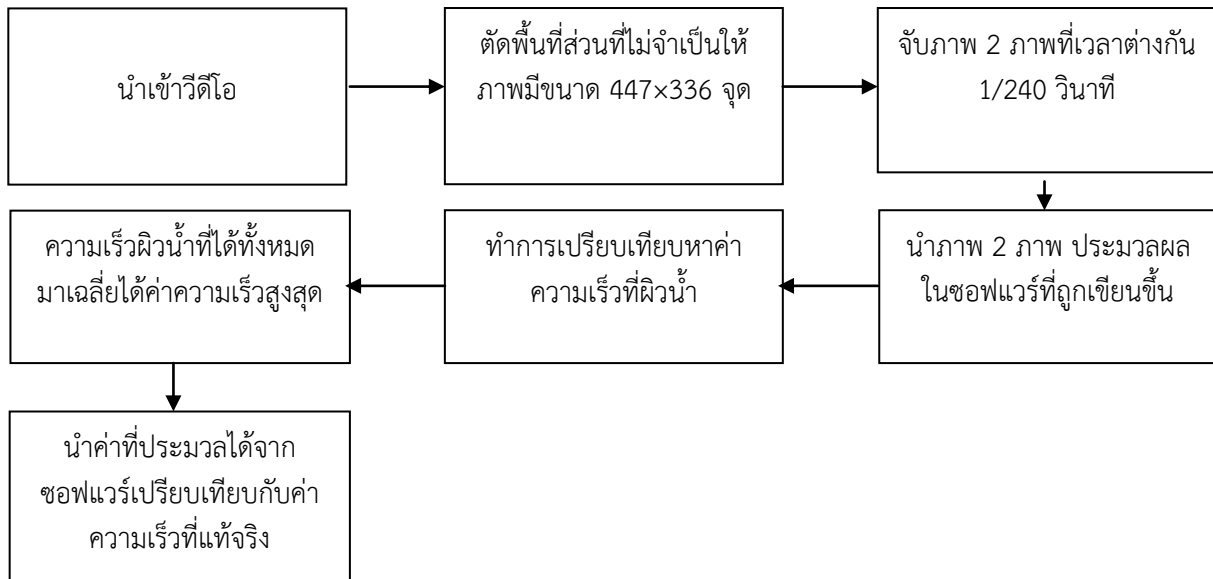
2.การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล (Data Process and Analysis)

- 1.อ่านค่าระดับสีที่ได้จากภาพในรูปแบบของ RGB ทั้งก่อนการเคลื่อนที่และหลังการเคลื่อนที่
- 2.เชื่อมต่อพิกัดหลักในภาพเพื่อการคำนวณขนาดการเคลื่อนที่และความเร็วของการเคลื่อนที่ของความเปลี่ยนแปลงค่าสี
- 3.ประมวลผลของข้อมูลภาพ ใช้ระบบการประมวลผลข้อมูลแบบหลายรอบและขนาดของข้อมูล
- 4.ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนและความผิดพลาดในการคำนวณแล้วทำการตัดส่วนที่ผิดพลาดออกจากกลุ่ม
- 5.วิเคราะห์ข้อมูลแล้วทำการปรับแก้ข้อมูล
- 6.เก็บข้อมูลต่างๆ เช่น ความเร็ว พิกัด ทิศทาง ของความเร็วที่จุดต่างๆ

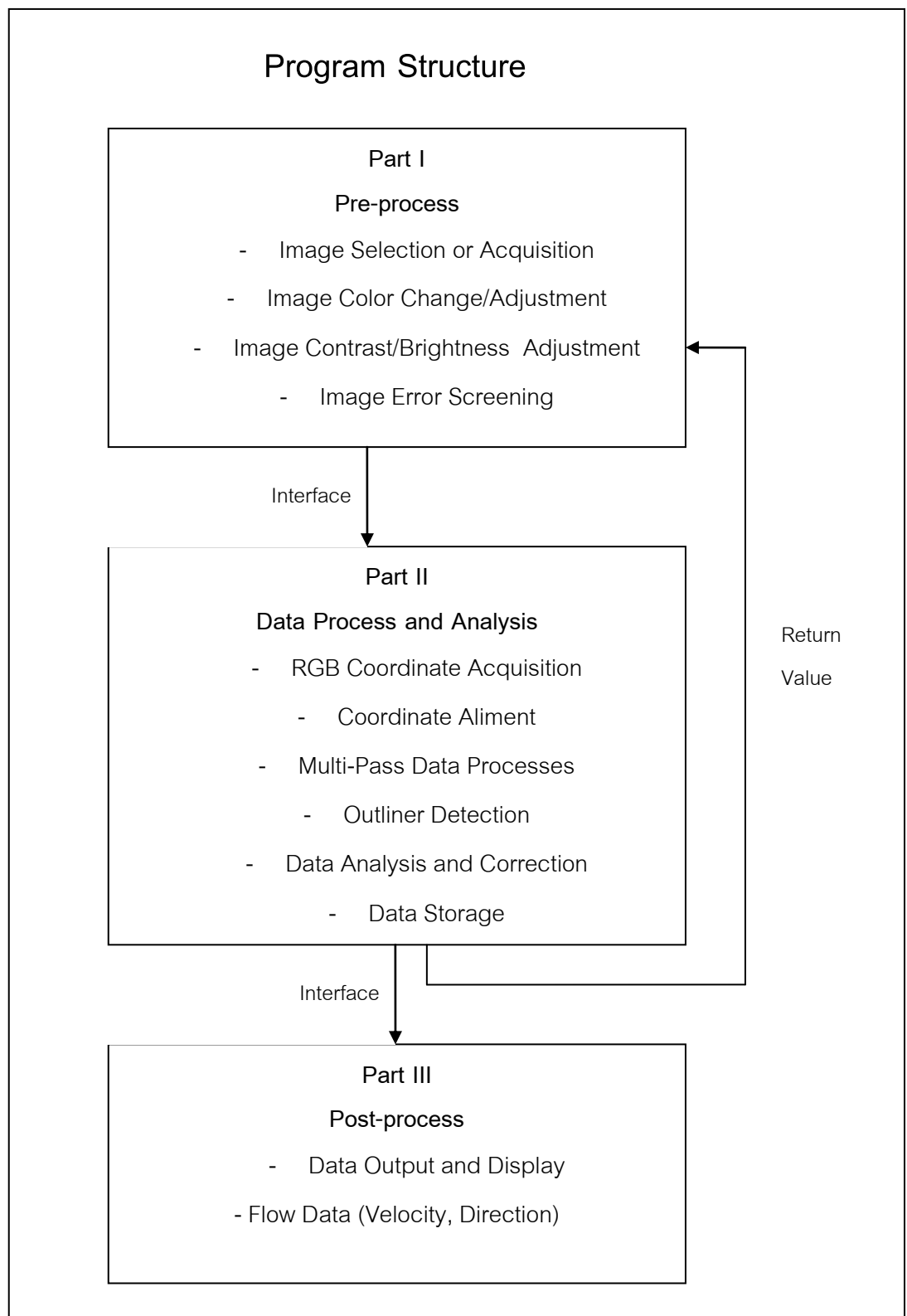
3.การแสดงผล (Data Display)

โครงสร้างของโปรแกรมได้แสดงอยู่ในรูปที่ 2.2 โดยแสดงลำดับการวิเคราะห์ของตัวโปรแกรมเป็นลำดับ โดยกระบวนการทำงานของโปรแกรมได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.3

ประมวลผลและวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยโปรแกรม Particle Image Velocity
ขั้นตอนการประมวลผลและการวิเคราะห์ภาพถ่าย



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมประมวลผลและวิเคราะห์ภาพ



รูปที่ 2.3 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมตรวจวัดการเคลื่อนที่ของตะกอน

การจัดแสงที่ตกกระทบผิวน้ำมีผลสำคัญต่อการคำนวณอย่างมาก โดยโปรแกรมจะสามารถทำงานได้ก็ต่อเมื่อสามารถมองเห็นการสะท้อนแสงของผิวน้ำ ถ้าไม่มีการสะท้อนแสงของผิวน้ำจะไม่สามารถอ่านค่าการเคลื่อนที่ได้ ในการทดลองนี้ได้มีการปรับค่าแสงที่ตกกระทบหลายรูปแบบ เช่น แสงมาจากทางด้านเหนือน้ำ ทำให้น้ำ หรือ แสงมาทั้งทางสองด้าน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 -2.7 มีการปรับมุมการถ่ายให้สามารถรับแสงสะท้อนจากผิวน้ำให้ได้ในปริมาณที่เหมาะสม คือ ถ้ามุมระหว่างกล้องและผิวน้ำมีน้อยเกินไปจะทำให้เกิด ค่าระยะทางแปรผันไม่ถูกต้อง(Perspective Distortion) ซึ่งเกิดขึ้นจากเลนส์ที่มีความโค้ง ทำให้ระยะทางด้านข้างของภาพมีค่ามากกว่าระยะทางตรงกลางของภาพ ปรากฏการณ์นี้สามารถแก้ไขได้โดยการใช้สมการปรับแก้ค่าระยะทางได้ หรือ ทำการปรับแก้ภาพให้มีอัตราส่วนของระยะทางที่เท่ากันทั้งภาพได้ โดนการจ้ยนี้ใช้การปรับระยะของภาพก่อนส่งเข้าประมวลผลต่อไป



รูปที่ 2.4 รูปการถ่ายภาพแนวตรงตั้งฉากกับผิวน้ำ



รูปที่ 2.5 การถ่ายภาพแนวเอียงกับผิวน้ำโดยใช้แหล่งจ่ายแสงสองทาง



รูปที่ 2.6 การถ่ายภาพผิวน้ำโดยใช้แหล่งจ่ายแสงหนึ่งทาง



รูปที่ 2.7 ภาพภาพในเวียงโดยเคลื่อนมือการถ่ายภาพการไหลของน้ำและคำนวณปริมาณการไหล

ผลและวิจารณ์ผล

การทดสอบโปรแกรมคำนวณความเร็วการไหลของน้ำ ได้ทำการทดสอบโดยการเปรียบเทียบความเร็วและทิศทางการไหลจริงกับความเร็วและทิศทางการไหลที่โปรแกรมคำนวณได้ ซึ่งได้ทำการทดสอบวัดความเร็วการไหลของน้ำในอ่างทดลองขนาดเล็ก และทางน้ำจำลองขนาดความยาว 10 เมตร ภายในห้องปฏิบัติการทดลองทางชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มีการควบคุมปริมาณแสงและแปรผันปริมาณแสงและความเร็วในการเก็บข้อมูล ได้ทำการแปรผันความเร็วและทิศทางการไหลของการไหลสภาพแสงในพื้นที่เพื่อทดสอบความสามารถในการตรวจจับการเคลื่อนที่ของอนุภาคตะกอนในน้ำ

เนื่องจากข้อจำกัดของเซ็นเซอร์รับภาพที่จำกัดอยู่ที่ 26 ภาพต่อวินาทีหรือในแต่ละภาพจะมีระยะยาวนานเพียง $1/26$ ของวินาที ทำให้ไม่สามารถตรวจจับอนุภาคที่มีความเร็วเกินจึงไม่ความประมาณ 10 เซนติเมตรต่อวินาทีได้เพราะจะมีความคลาดเคลื่อนสูง จะไม่สามารถแสดงตำแหน่งของอนุภาคเป็นจุดได้ ค่าที่ได้ จะเป็นแถบยาวหรือมีการกระโดดข้ามของตำแหน่งและทิศทางการเคลื่อนที่ทำให้ไม่สามารถคำนวณปริมาณการเคลื่อนที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2

ได้ทำการเก็บตัวอย่างในห้องทดลองจำนวนทั้งสิ้น 150 ตัวอย่างเพื่อทำการคำนวณ โดยแบ่งเป็น 5 ระดับความลาดชันตั้งแต่ 1:303, 1:133, 1:83, 1:37, 1:24 และ 1:19 ในแต่ละความลาดชันจะประกอบด้วย 3 อัตราการไหล ประมาณ 25 50 และ 75 ลิตรต่อวินาที แต่ละความลาดชันและอัตราการไหลจะมีการเก็บทั้งหมด 10 ตัวอย่าง

ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณจะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ค่าพิกัด ทิศทาง และ ปริมาณการเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถนำมาแสดงอยู่ในรูปของตาราง สามารถนำมารูปภาพต่างๆที่สร้างโดยโปรแกรมประกอบด้วยทิศทางและขนาดของการเคลื่อนที่ของอนุภาคดังแสดงในรูปที่ 3.3 ทิศทางการเคลื่อนที่และขนาดถูกเขียนลงทับบนรูปเพื่อแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค(สีขาว)และตะกอนใต้น้ำ(สีดำ) โดยรูปตะกอนถูกถ่ายโดยวิธีการ

ฉายแสงโดยตรงแล้วได้มีการเปลี่ยนสีเพื่อเพิ่มความเด่นชัดของตะกอนในภาพ
 คำนวณหาการเคลื่อนที่

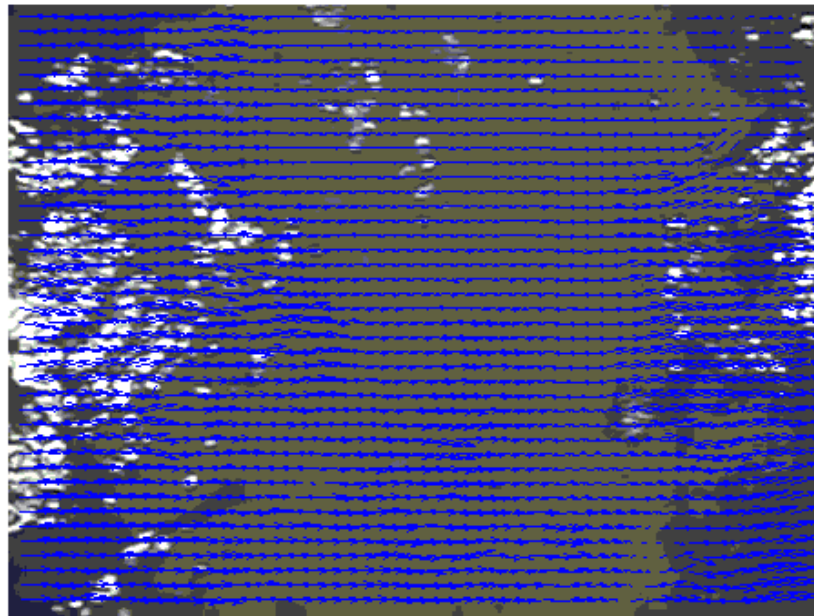
เพื่อความสะดวกในการ



รูปที่ 3.1 รูปแสดงการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ผิวน้ำที่เวลา 0.0 วินาที

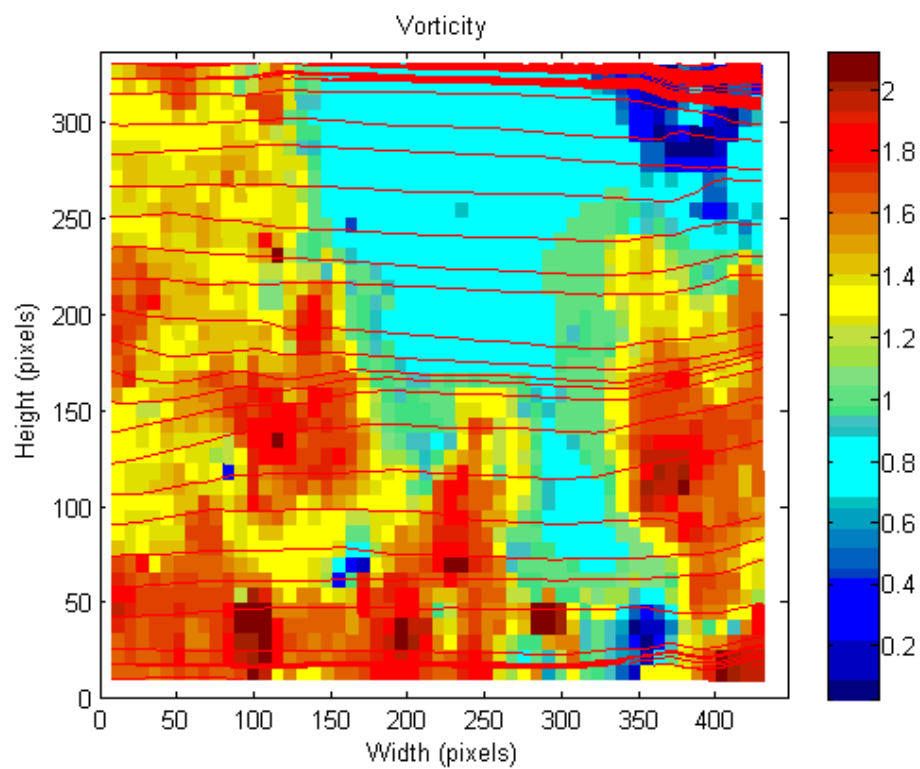


รูปที่ 3.2 รูปแสดงการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ผิวน้ำที่เวลา 1/26 วินาที

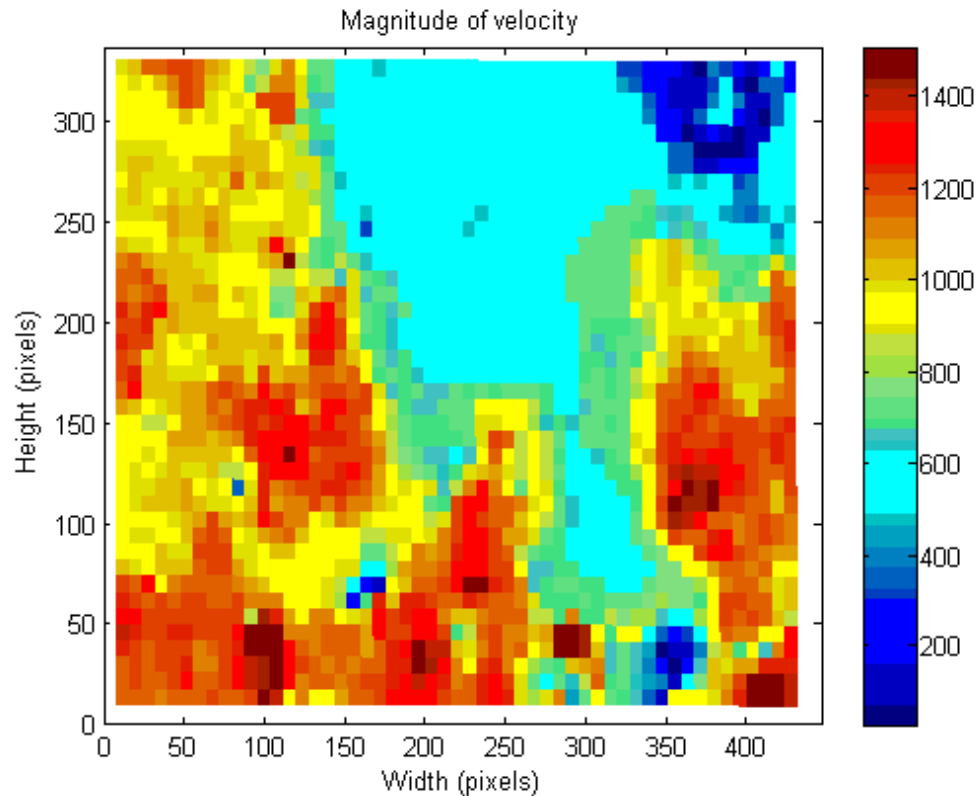


รูปที่ 3.3 ปริมาณการเคลื่อนที่ที่ได้จากการคำนวณ

การหมุนแปรปรวน (Vorticity) สามารถใช้ในการพิจารณาปริมาณการเคลื่อนที่แบบหมุนของตะกอนในภาพเพื่อปรับแก้ความเร็วเฉลี่ยทั้งหมดได้แสดงในรูปที่ 3.4 ความเร็ว (Magnitude of Velocity) แสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 ทิศทางและขนาดของการเคลื่อนที่ของตะกอนแสดงในรูปของเวกเตอร์ (Vorticity)



รูปที่ 3.5 ปริมาณความเร็ว (Magnitude of Velocity)

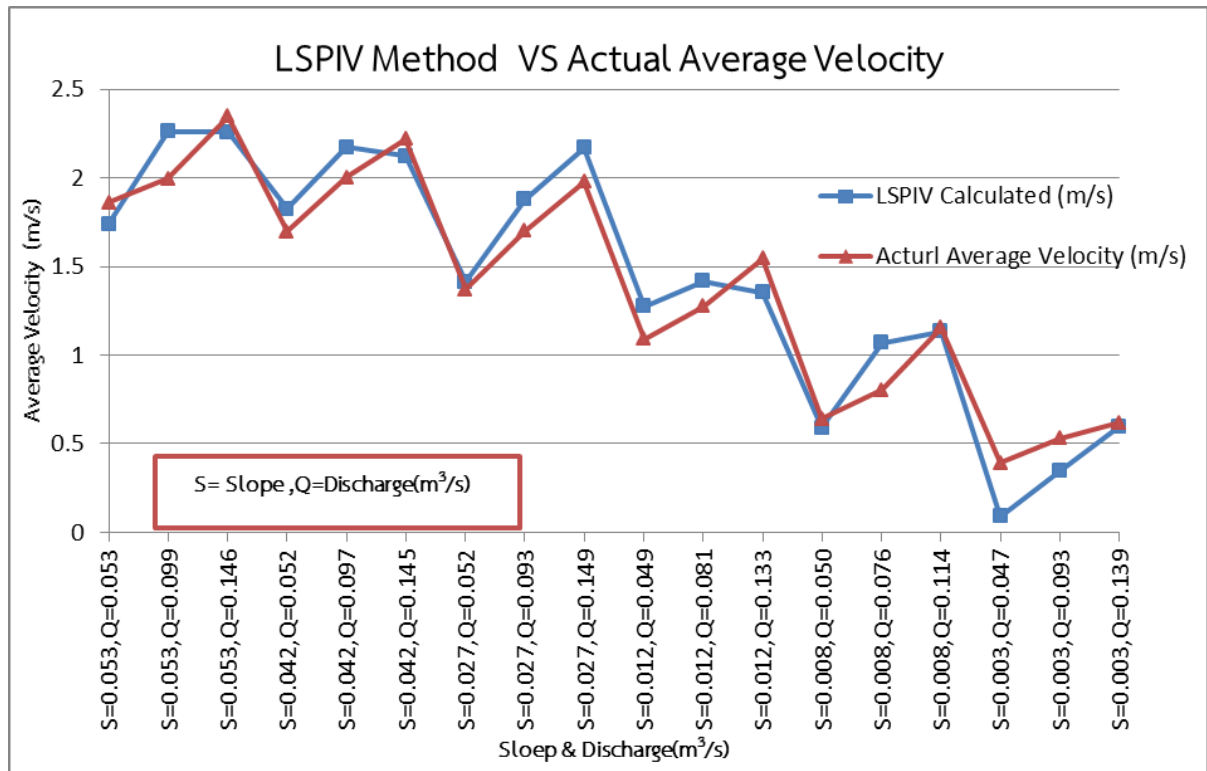
เนื่องจากขนาดพื้นที่ที่เซ็นเซอร์รับได้มีขนาดเล็กมากซึ่งประมาณ $1/2$ ตารางซม. ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์กับผิวน้ำหรือตะกอน ซึ่งจะแบ่งเป็น แนวราบ 320จุด และแนวตั้ง 240จุด ซึ่งเพื่อทำการขยายขนาดโดยการอินเทอร์โพลแล้วจะได้ข้อมูลในขนาด 640 จุดและแนวตั้ง 480 จุด และทำการปรับเฉดสีและปริมาณแสง เพื่อเพิ่มความชัดเจนของภาพจะสามารถแสดงข้อมูลได้ชัดเจนกว่าเมื่อทำการคำนวณหาการเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรม จากการแบ่งขนาดภาพที่รับได้ออกเป็น 640 ส่วนในแนวราบ หรือเท่ากับประมาณ $1/640$ ซม.ต่อหนึ่งจุด และ 480ส่วนในแนวตั้ง หรือเท่ากับประมาณ $1/480$ ซม.ต่อหนึ่งจุด ค่าที่ได้จึงมีความละเอียดสูง เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของตะกอนตัวอย่างที่เก็บมาจากคลองชลประทานจำลองในห้องทดลอง

จากภาพตัวอย่าง อนุภาคหรือแสงที่สะท้อนบนยอดคลื่นจะมีขนาดแตกต่างกันไปตั้งแต่ 5 ตร.ซม. จนถึง 150 ตร.ซม.ขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของแสง ตะกอนตัวอย่างที่เก็บมาจากคลองชลประทานมีขนาดตั้งแต่ประมาณ 5 พิกเซล จนถึง 45 พิกเซล ซึ่งเท่ากับ 0.008 - 0.07 ซม.

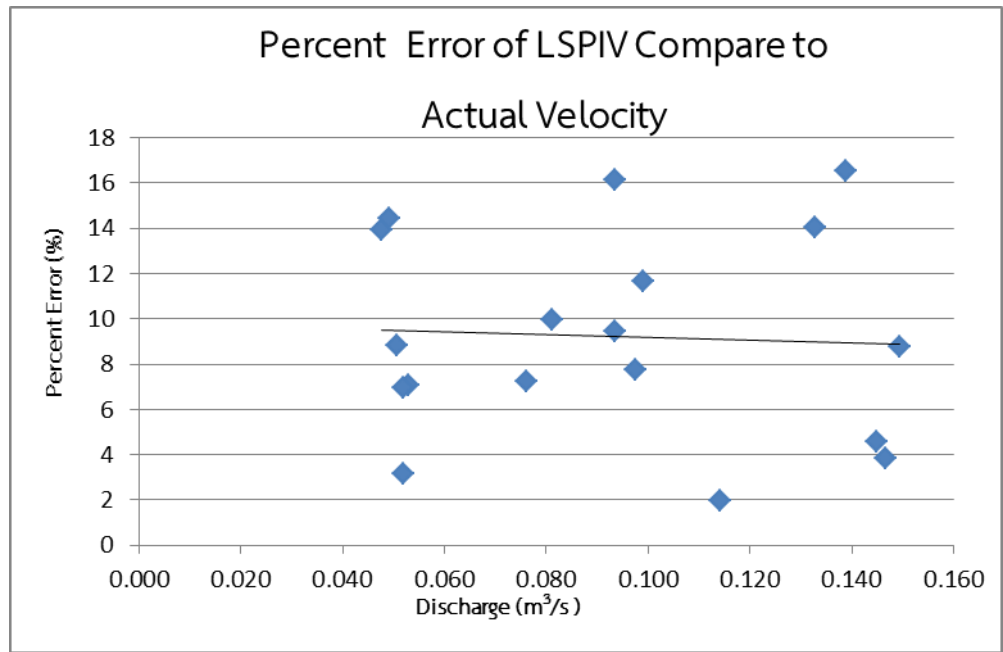
จากการเปรียบเทียบผลการคำนวณการเคลื่อนที่ของตะกอนจากภาพ ได้ทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากคำนวณโดยโปรแกรมกับค่าที่ได้จากการประมาณวัดการเคลื่อนที่โดยการแบ่งตารางและนับปริมาณการเคลื่อนที่จริงพบว่า เซ็นเซอร์ที่ใช้มีจุดที่ภาพมีความคมชัดในพื้นที่โฟกัสมีความกว้างทำให้ค่าการเคลื่อนที่ในแกนราบมีการแปรปรวนสูงดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งไม่สามารถแบ่งแยกตะกอนได้ว่าอยู่ในระยะใดทำให้ไม่สามารถระบุระยะที่แท้จริงได้การประมาณค่าที่ได้จึงอาจทำให้มีความคลาดเคลื่อนสูง ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าการเคลื่อนที่ที่คำนวณได้จากโปรแกรมจะค่าใกล้เคียงกันดังแสดงในรูปที่ 3.6

จากการใช้กล้องบันทึกวิดีโอความเร็วสูง เป็นตัวบันทึกภาพน้ำที่ไหลผ่านแบบจำลองคลองชลประทาน นำภาพที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาค่าความเร็ว จากการวิเคราะห์ข้อมูลตัวอย่าง แสดงเป็นกราฟดังรูปที่ 3.6 ได้

ทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการใช้เทคนิคการถ่ายภาพอนุภาคขนาดใหญ่กับค่าความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากการหาโดยวิธีคำนวณโดยปริมาตร จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติได้ผลดังนี้เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 16.54 เปอร์เซ็นต์ ความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 9.24 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่ได้ค่อนข้างมีค่าคงที่ตลอดช่วงเวลาของความเร็วการไหล ดังแสดงในรูปที่ 3.7



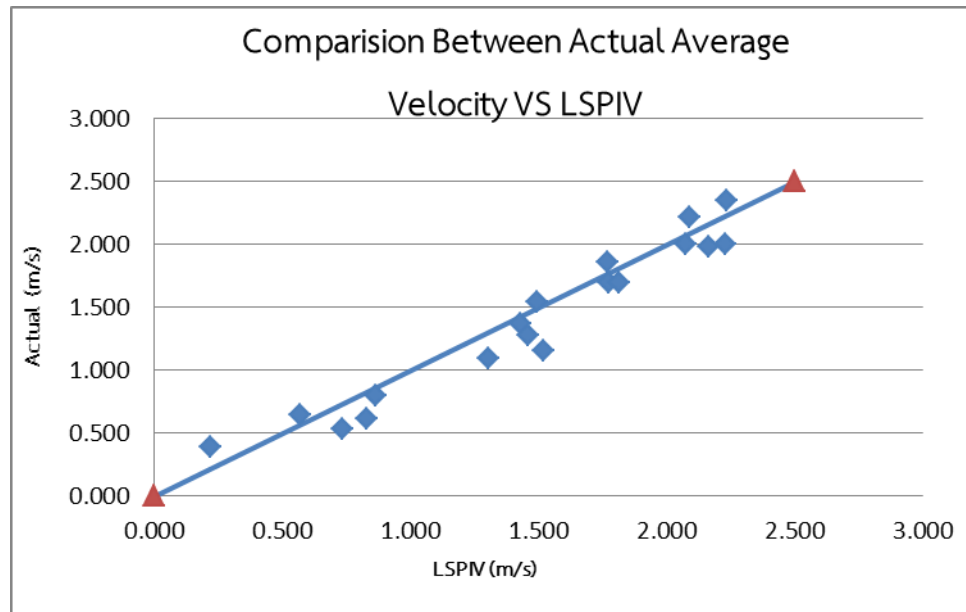
รูปที่ 3.6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความเร็วของการไหลจากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ และค่าความเร็วของการไหลที่แท้จริง



รูปที่ 3.7 แสดงค่าความผิดพลาดของแต่ละอัตราการไหล

วิจารณ์ผลการทดลอง

ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่าความเร็วของการไหลแปรผันตามระดับความลาดชัน เมื่อกำหนดให้อัตราการไหลคงที่ แล้วเพิ่มระดับความลาดชันจะส่งผลให้ค่าความเร็วของการไหลเพิ่มขึ้น และเนื่องจากในการบันทึกวีดิโอนั้น ต้องใช้แสงจากหลอดไฟเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งต้องมีแสงสว่างมากพอที่จะต้องใช้และการจับภาพทิศทางการไหลของน้ำนั้นต้องสม่ำเสมอ ดังนั้นเมื่อแสงสว่างไม่เพียงพอจะทำให้ไม่มีมุมสะท้อนของแสงกลับมา จึงไม่สามารถมองเห็นลักษณะการไหลของน้ำได้อย่างชัดเจนและจะส่งต่อการวิเคราะห์ภาพจากโปรแกรม การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหล ไม่มีผลกระทบต่อค่าความเร็วที่ประมวลผลได้จากซอฟต์แวร์ เนื่องจากมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และการกระจายตัวของค่าความผิดพลาดไม่ต่างกันมากนัก ซึ่งถือได้ว่าค่อนข้างจะคงที่ ดังนั้นเมื่อค่าอัตราการไหลเพิ่มขึ้นจะไม่ส่งผลให้ค่าความผิดพลาดมากขึ้นด้วย จึงสรุปได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากการใช้เทคนิคการถ่ายภาพอนุภาคขนาดใหญ่และผลที่ได้จากคำนวณโดยวิธีคำนวณโดยปริมาตรต่อเวลาผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันค่อนข้างมาก



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความเร็วของการไหลจากการประมวลผลกับค่าความเร็วของการไหลที่แท้จริงที่คำนวณมาจากการตรวจปริมาตร (Volume Metric)

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม ในการตรวจวัดความเร็วการไหลของน้ำโดยวิธีการวัดเคลื่อนที่ของอนุภาคขนาดใหญ่บนผิวน้ำ การสะท้อนแสงไฟของคลื่นเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการตรวจวัด เนื่องจากในบางครั้งแหล่งกำเนิดของแสงไฟไม่อยู่ในมุมที่สามารถสะท้อนได้เช่น การที่แหล่งกำเนิดแสงไฟตั้งฉากกับทิศทางการไหล ทำให้เกิดการสะท้อนแสงเข้ากล้องน้อยกว่าที่ควรจะเป็น มีผลทำให้เห็นภาพคลื่นน้อยมาก ส่งผลให้การตรวจวัดการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ผิวน้ำหรือคลื่นเป็นไปได้ยาก จึงจำเป็นต้องปรับขนาดหรือมุมการส่องของแหล่งกำเนิดแสง จากการทดลองภายในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน สามารถสรุปได้ว่า การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่สามารถใช้เป็นตัวแทนของการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำได้ การเคลื่อนที่ของตะกอนในน้ำมีความแปรปรวนของทิศทางและความเร็วเนื่องจากขนาดและระดับของตะกอน

การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากคำนวณโดยโปรแกรมกับค่าที่ได้จากการประมาณวัดการเคลื่อนที่โดยการแบ่งตารางและนับปริมาณการเคลื่อนที่จริงพบว่า เซ็นเซอร์ที่ใช้มีจุดที่ภาพมีความคมชัดในพื้นที่โฟกัสมีความกว้างทำให้ค่าการเคลื่อนที่ในแกนราบมีการแปรปรวนสูงดังแสดงในรูปที่ 3.6 แสดงให้เห็นว่าความกว้างของพื้นที่ที่อยู่ในโฟกัสมีอยู่ในระหว่าง 1 – 2 ซม. ซึ่งไม่สามารถแบ่งแยกตะกอนได้ว่าอยู่ในระยะใดทำให้ไม่สามารถระบุระยะที่แท้จริงได้การประมาณค่าที่ได้จึงมีความคลาดเคลื่อนสูง ซึ่งปัญหาที่พบคือเซ็นเซอร์มีระยะโฟกัสกว้างต้องใช้การประมาณค่าในการหาค่าเฉลี่ยความเร็วการเคลื่อนที่ของตะกอน ซึ่งเซ็นเซอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าจะมีราคาสูงมากจึงไม่สามารถนำมาทดลองได้

อีกปัญหาที่พบคือความไวแสงของเซ็นเซอร์ที่ใช้มีความไวแสงมีเพียงพอกับความเร็วของน้ำในคลองชลประทานคือ ประมาณ 80-200 ซม/วินาที ถึงแม้ว่าจะเพิ่มจำนวนแหล่งกำเนิดแสงแล้วก็ตาม ซึ่งถ้าเปลี่ยนเซ็นเซอร์ให้มีความไวแสงมากขึ้นและมีความเร็วภาพมากขึ้นถึงระดับ 200-600 ภาพ/วินาทีจะสามารถใช้วัดความเร็วในช่วงดังกล่าวได้

ระดับน้ำที่ลึกขึ้นจะมีผลต่อการวัดความเร็ว เพราะตะกอนที่ขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อระดับน้ำลึกมากๆ หรือที่เรียกตะกอนท้องน้ำจะมีขนาดใหญ่มากกว่าตะกอนที่ผิวน้ำจะทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณไม่เท่ากันเพราะตะกอนท้องน้ำใช้การกระโดดในการเคลื่อนที่ไปตามกระแสน้ำจะมีความเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่น้อยกว่าตะกอนแขวงลอยที่ลอยไปตามน้ำทำให้ค่าความเร็วที่วัดได้มีค่าแตกต่างกับออกไป

จากผลการวัดความเร็ว ค่าความเร็วที่ได้ระหว่างโปรแกรมและวัดจริงมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันมีความแปรปรวนมากขึ้นเมื่อความเร็วของการไหลเพิ่มมากขึ้น การวัดในทางน้ำมีการกระจายตัวของความเร็วมากกว่าเนื่องมาจากมีความเร็วของการไหลมากกว่าการวัดความเร็วในถังน้ำ

การพัฒนาเครื่องมือวัดค่าความเร็วการไหลของน้ำโดยการใช้เทคนิคการถ่ายภาพอนุภาคขนาดใหญ่ด้วยกล้องบันทึกวิดีโอ และนำภาพที่ได้มาวิเคราะห์ในโปรแกรม Particle Image Velocity ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน หาค่าได้ถูกต้อง สะดวก รวดเร็ว โดยความแม่นยำของค่าที่ได้ใกล้เคียงกับการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่มีราคาสูง สามารถลดต้นทุนจากการนำเข้าเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่มีราคาสูง สามารถลดระยะเวลาในการประมวลผลหาค่าความเร็วการไหลได้ ผลที่ได้จากการวัดความเร็วการไหลในคลองชลประทานโดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพอนุภาคขนาดใหญ่ด้วยกล้องบันทึกวิดีโอ และนำภาพที่ได้มาวิเคราะห์ในโปรแกรม Particle Image Velocity เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่ทำการอ่านค่าความเร็วจากภาพถ่าย สามารถทำการตรวจสอบค่าที่ได้โดยการตรวจดูภาพถ่ายที่บันทึกภาพน้ำที่ไหลผ่านแบบจำลองคลองชลประทานหรือเรียกดูภาพย้อนหลังเพื่อตรวจสอบข้อมูลได้ จากนั้นนำภาพที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาค่าความเร็ว จะได้ค่าความเร็วที่ผิวน้ำและค่าความเร็วเฉลี่ยของการไหลนั้น จากผลการทดสอบการวัดค่าความเร็วการไหล สามารถนำไปหาความเร็วการไหลได้โดยนำค่าที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับค่าความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากการหาโดยวิธีคำนวณโดยปริมาตรต่อเวลา (Volumetric Method) ผลที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อย เนื่องจากค่าที่ได้จากวิธีทั้งสองมีความใกล้เคียงกันค่อนข้างมาก แสดงให้เห็นว่าวิธีการใช้เทคนิคการถ่ายภาพอนุภาคขนาดใหญ่สามารถนำไปใช้หาค่าความเร็วการไหลได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงสามารถนำไปใช้ได้ และค่าที่ได้มีความแม่นยำของใกล้เคียงกับการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่มีราคาสูง

ข้อเสนอแนะ

การวัดความเร็วการไหลในคลองชลประทานโดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพอนุภาคขนาดใหญ่สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือวัดความเร็วการไหลในคลองชลประทานได้ สามารถประมวลผลหาค่าความเร็วการไหลได้ ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน หาค่าได้ถูกต้อง สะดวก รวดเร็ว โดยความแม่นยำของค่าที่ได้ใกล้เคียงกับการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่มีราคาสูง ช่วยลดค่าใช้จ่ายและลดระยะเวลาในการประมวลผลหาค่าความเร็วการไหลได้ในทางปฏิบัติ อย่างไรก็ตามการวัดความเร็วการไหลในคลองชลประทานโดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพอนุภาคขนาดใหญ่เป็นเพียงการทดสอบการทำงานของระบบในห้องปฏิบัติการ ยังคงต้องมีการแก้ไขปัญหามากมายในภาคสนาม เนื่องจากแบบจำลองคลองชลประทานในห้องปฏิบัติการมีความยาวที่น้อยกว่าความ

ยาวของคลองชลประทานโดยทั่วไปมาก ดังนั้นค่าระดับความลาดชันที่ทำการทดสอบจึงไม่เป็นไปตามระดับความลาดชันตามความเป็นจริง จึงบอกได้เพียงว่าผลจากการทดสอบเป็นแนวโน้มเท่านั้น ซึ่งยังต้องมีการปรับปรุงและพัฒนาโปรแกรมเพื่อให้ผลการทดสอบมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด หรือให้ได้ค่าใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- 6.1 Chow, V.T. Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill, NY, 1959
- 6.2 Liggett, J.A. Intermediate Fluid Mechanics. McGraw-Hill, NY, 1994
- 6.3 Chain, V. <http://www.Holomap.com>
- 6.4 Barrick, D.E., Teague, C.C., Lilleboe, P., and Cheng, R.T., 2003, Profiling river surface velocity and volume estimation with bistatic UHF RiverSonde radar, *in* Proceedings of 7th Working Conf. on Current Measurement Technology, IEEE, San Diego, California, March 13-15, 2003, p. 55-59.

6.5 Cheng, R.T., Costa, J.E., Haeni, F.P., Melcher, N.B., and Thurman, E.M., 2002, *In search of technologies for monitoring river discharge*, in Younos, Tamin, ed., *Advances in Water Monitoring Research*, Water Resources Publication, p. 203-219.

6.6 Cheng, R.T., Gartne, J.W., Mason, R.R., Jr., Costa, J.E., Plant, W.J., Spicer, K.R., Haeni, F.P., Melcher, N.B., Keller, W.C., and Hayes, Ken, 2004, *Evaluating a radar-based, non contact streamflow measurement system in the San Joaquin River at Vernalis, California*: U.S. Geological Survey Water Resources Open File Report 2004-1015, <http://pubs.usgs.gov/of/2004/1015/>

6.7 Costa, J.E., Cheng, R.T., Haeni, F.P., Melcher, N., Spicer, K.R., Hayes, E., Plant, W., Hayes, K., Teague, C., and Barrick, D., 2006, *Use of radars to monitor stream discharge by noncontact methods*, *Water Resources Research*, 42, W07422, doi:10.1029/2005WR004430.

6.8 Costa, J.E., Spicer, K.R., Cheng, R.T., Haeni, FP, Melcher, N.B., Thurman, E.M., Plant, W.J., and Keller, W.C., 2000, *Measuring stream discharge by non-contact methods--a proof-of-concept experiment*: *Geophys. Res. Lett.*, v. 27, no. 4, p. 553-556.

6.9 Haeni, F.P., Buursink, M.L., Costa, J.L., Melcher, N.B., Cheng, R.T., and Plant, W.J., 2000, *Ground-Penetrating RADAR Methods Used in Surface-Water Discharge Measurements*, in Noon, David A., Stickley, Glen F., and Longstaff, Dennis, ed., *GPR 2000 - Proceedings of the Eighth International Conference on Ground Penetrating Radar*: University of Queensland, Queensland, Australia, p.494-500.

6.10 Melcher, N.B., Cheng, R.T., And Haeni, F.P., 1999, *Investigating technologies to monitor open-channel discharge by direct measurement of cross-sectional area and velocity of flow*, in *Hydraulic Engineering for Sustainable Water Resources Management at the Turn of the Millennium*: Graz, Austria, Technical University Graz, Institute for Hydraulic and Hydrology XXVIII International Association of Hydraulic Research Congress, August, 22-27, 1999, Paper No. 181, 6 p.

6.11 Melcher, N.B., Costa, J.E., Cheng, R.T., Thurman, E.M., And Haeni, F.P., 2000, *Use of radar for making noncontact river-discharge measurements* [abs.], in *Arizona Hydrological Society 13th Annual Symposium*, Phoenix, Arizona, September 20-23, 2000, p. 63-64.

6.12 Melcher,N.B., Costa, J.E., Haeni, F.P., Cheng, R.T., Thurman, E.M., Buursink, M., Spicer, K.R., Hayes, E., Plant, W.J.. Keller, W.C., and Hayes, K. , 2002, *River discharge measurements by using helicopter-mounted radar*, *Geophys. Res. Lett.*, 29(22), 2084, doi:10.1029/2002 GL015525

- 6.13 Drain, L.E., 1980. The Laser Doppler Technique, John Wiley Press, USA.
- 6.14 Durst, F., Melling, A., & Whitelaw, J.H., 1976. Principles and practice of laser Doppler anemometry. Academic Press, London.
- 6.15 Durrani, T.S., and Greated, C.A., 1977. Laser Systems for Flow Measurement, Plenum, New York.
- 6.16 Strunck V, Sodomann T, Muller H and Dopheide D., 2004 *How to get spatial resolution inside probe volumes of commercial 3D LDA systems*. Experiments in Fluids 36 141-145.
- 6.17 Yeh, Y. & Cummins, H., 1964. *Localised fluid flows measurements with a He-Ne laser spectrometer*. Appl. Phys. Lett., 4, pp. 176-178.
- 6.18 Grant, I., 1997. Particle image velocimetry: a review, Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol 211, Part C, pp.55-76.
- 6.19 Ming-Ching, Lan-Mou Leu, Hsun-Chuan Chan, Wei-Che Huang. 2010. The measurement of discharge using a commercial digital video camera in irrigation canals. **Flow Measurement and Instrumentation**. 21: 150-154.
- 6.20 V. Weitbrecht, G. Kuhn, G.H. Jirka. 2002. Large scale PIV-measurements at the surface of shallow water flows. **Flow Measurement and Instrumentation**. 13: 237-245.
- 6.21 สันติ ทองฟ้านัก. 2534. **การไหลในทางน้ำเปิด**. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- 6.22 พรหมพร เชื้อกุลา , เศรษฐา สมจิตต์ชอบ , จิระกานต์ ศิริวิษณุเมตรี 2553.**การพัฒนาเครื่องมือวัดระดับน้ำแบบลูกลอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย**. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการแหล่งน้ำแห่งชาติ ประจำปี 2553.
- 6.23 ทิพย์กาญจน์ บุญชุ่ม, วินัย แก้วไทรอินทร์, ศิริพร ศรีตนาไชย, อัญชลี เปาลีวัฒน์, จิระกานต์ ศิริวิษณุเมตรี, 2554 **การวัดความเร็วการไหลในคลองชลประทานโดยเทคนิคการถ่ายภาพอนุภาคขนาดใหญ่**
ใน รายงานการประชุมทางวิชาการงานเกษตรกำแพงแสนครั้งที่ 8. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

